卫星上行站技术指标及高功放系统的测试方法

摘　要：上行站系统工作的稳定对整个卫星发射系统有着重要的影响。本文讲述了数字卫星上行站概况，系统视音频通道技术参数；使用信号发生器、频谱分析仪、微波功率计等测试仪器对高功放中的输出功率增益、频率响应、输出频谱、杂散输出、三阶互调、相位噪声等指标测试方法，以提高我们对系统进行技术指标检测和维护水平。

关键词：视音频；卫星上行系统；射频高功放；技术指标
中图分类号：TN939.13　　文献标识码：A
文章编号：1671-0134（2017）09-115-05　　DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2017.09.043

文 / 金进华

引言

目前中央和各省广播电视系统都建有数字卫星上行站，肩负着中央和省级卫视广播信号传输和转发的重要任务。对于广播电视卫星上行站来说，安全播出是重要的工作任务，在数字卫星上行系统中，节目传输系统和卫星上行。系统是保证信号质量的关键环节，由于长期不间断工作，故障出现的几率相对较高，因而需要我们定期进行技术指标测量，检查系统的运行状态，及时发现存在问题，确保信息的安全优质播出。

1. 广播电视数字卫星上行站的构成

广播电视数字卫星上行站主要由节目传输系统、上行系统、天馈系统、控制系统、监测网管系统和配电系统等部分组成。

上行系统的主要由光接收机、编码器、复用器、射频高功放系统等组成。如图 1 所示。

广播电视数字卫星上行系统的工作流程为：播出中心送出的数字电视信号（SDI 信号）由光发射机发送经光缆传送至上行站（一般有多个路径），上行站的光接收机把（各路）收下 SDI 信号经分配、放大和自动倒换后送入编码器，由编码器将数字视音频信号按照 MPEG-2 格式进行压缩编码，编码后信号与其他数据信号如附加音频广播等数据等（广播信号和电视信号相同，光接收机把收下 AES 数字音频广播信号分别送入复用器）一起进入复用器产生基带信号，调制器将复用器输出的信号调制成 70MHz 的中频信号（根据具体情况可采用 QPSK、8PSK、16APSK 和 32APSK 等调制方式），上变频器把中频信号变频到卫星转发器规定的上行频率并适当放大，为高功放提供激励，高功放将上行射频信号放大至额定值经波导送至天线进行发射。

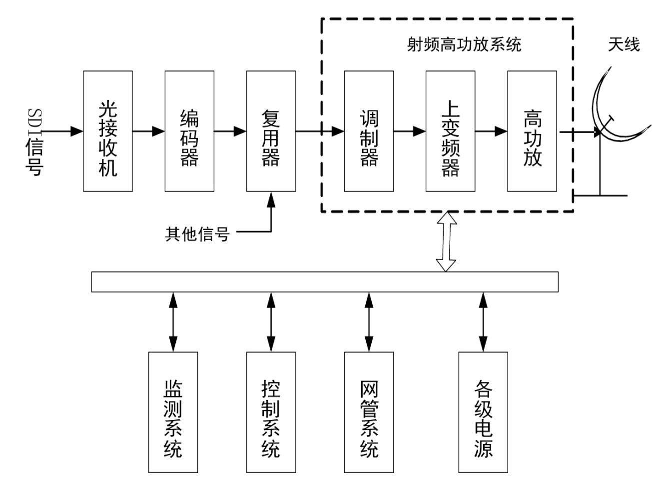


图 1　卫星广播地球站上行系统框图

2. 数字卫星上行系统主要技术指标要求

要全面准确地评估数字卫星上行系统技术状态是比较困难的，在实际工作中主要是通过测试一些重要的技术指标来正确反映设备的性能和工作状态。下面就数字卫星上行站系统中主要的技术指标要求及部分测试方法等进行详细的阐述。

2. 1 节目传输系统

对于节目传输系统中的光缆线路和视音频通路，测试中需要考虑的技术指标有：光缆线路平均衰耗（单模，波长 1550nm）、光接收设备接收灵敏度及最小过载光功率、标清和高清视频输出接口特性（光接收机输出接口，视分接口

等）、数字音频接口特性测试等。

光缆线路参考的技术标准有《GY/T 130–1998 有线电视用光缆入网技术条件》《GY/T 239–2009 广播电视光缆传输干线网运行维护规程》等，光缆线路（1550nm）平均衰耗要求≤ 0.25dB/km，光接收机的接收灵敏度及最小过载光功率根据光设备和光接口类型的不同，要求也不同。

高标清视频输出接口特性参考的技术标准有《GY/T 243–2010 标准清晰度电视数字视频通道技术要求和测量方法》和《GY/T 157–2000 演播室高清晰度电视数字视频信号接口》技术要求，如下表 1 所示。

数字音频接口特性测试标准可参考《GY/T 182–2002 卫星数字广播电视地球站运行维护规程》，其中，抖动要求<0.07（UI），音频幅度峰峰值（跨接 110Ω 电阻）要求在 2 至 7 V 之间。

由于数字电路每一级都可能存在时基校正系统，上一级不合格的指标在下一级会得到修正，因此在数字系统检测时就要求对每一级电路都要进行接口特性的测试。

表 1　标清和高清数字接口特性技术要求

检测项目		单位	高清数字接口特性技术要求	标清数字接口特性技术要求
信号幅度		mV	800 ± 80	800 ± 80
上升时间		ps	＜ 270（20–80%）	400~1500
下降时间		ps	＜ 270（20–80%）	400~1500
上升和下降时间的偏差		ps	≤ 100	≤ 500
上 冲		%	＜ 10	≤ 10
下 冲		%	＜ 10	≤ 10
直流电平偏移		mV	–500~500	–500~500
抖动	标清 100kHz 高清 1kHz（高通滤波）	UI（ps）	≤ 0.2（≤ 135）	≤ 0.2（≤ 740）
	10Hz（高通滤波）	UI（ps）	＜ 1（＜ 673）	≤ 0.2（≤ 740）

2.2 上行系统中的编码器、复用器

对于上行系统中的编码器、复用器，测试中需要考虑的技术指标有：编码器 ASI 输出接口、复用器 ASI 输出接口、数字电视复用器 ASI 输入接口技术指标等。参考的技术标准有《GY/T 212–2005 标准清晰度数字电视编码器、解码器技术要求和测量方法》和《GY/T 226–2007 数字电视复用器技术要求和测量方法》。具体要求如表 2~3 所示。

表 2　编码器、复用器 ASI 输出接口技术指标要求

检测项目	单位	编码器 ASI 输出接口技术要求	复用器 ASI 输出接口技术要求
输出幅度	mV	800 ± 80	800 ± 80
上升时间（20%–80%）	ps	≤ 1200	≤ 1200
下降时间（20%–80%）	ps	≤ 1200	≤ 1200
确定性抖动	%	≤ 10	≤ 10

表 3　复用器 ASI 输入接口技术指标要求

检测项目	单位	输入接口技术要求
最大输入电压	mV	≥ 880
最小接收灵敏度	mV	≤ 200

编码器、复用器 ASI 输出接口技术指标：输出幅度 800 ± 80 mV、上升时间（20%–80%）≤ 1200 ps、下降时间（20%–80%）≤ 1200 ps、确定性抖动≤ 10%。

复用器 ASI 输入接口技术指标：最大输入电压≥ 880 mV、最小接收灵敏度≤ 200 mV。

2.3 上行系统中的射频高功放

对于射频高功放系统，相关的技术标准参考国家新闻出版广电总局对卫星地球站验收的检测报告，测试中需要考虑的技术指标有：输出功率（增益变化与功率稳定度）、频率响应（带内平坦度）、输出频谱（带宽）、带内带外杂散、三阶互调、相位噪声等。如表 4 所示。

表 4　射频高功放系统主要技术指标要求

检测项目	单位	技术要求
输出功率	dBm	—
工作频率	MHz	—
频率响应（带内平坦度）	dB	≤ 0.5p–p（SCPC） ≤ 1p–p（MCPC）
–3 dB 带宽	MHz	—
–30 dB 带宽	MHz	—
杂散（带内）	dB	–55
杂散（带外）	dB	–65
三阶互调	dB	–34
相位噪声（@1kHz）	dBc/Hz	≤ –75

3. 射频高功放系统主要技术指标的测试方法

由于上行站系统指标很多，而射频高功放系统在整个上行系统中相对薄弱，所以本文主要阐述射频高功放系统的指标测试。

测试采用的仪器为：信号发生器（10MHz--1GHz）、频谱分析仪（C 波段或 Ku 波段），还需要衰减量约 50dB 的波导耦合器及微波功率计等测试仪器。下面对主要指标的测试作分析介绍。

3.1 输出功率增益（及功率不稳定度）

输出功率增益是指高功放的功率增益；而功率不稳定度是指高功放的实际增益随时间（连续 1 小时内或 24 小时内）的变化，输出功率最大值和最小值之差与标称输出功率之比就是输出功率不稳定度。

输出功率增益测试一般都采用直接测量的方法，测试时信号发生器输出一个已知功率（是 P0）的高功放输入信号，在高功放输出端口和负载之间接入一个适当的并校准好的定向耦合器（G0 是耦合器的衰减量），耦合器输出信号接到功率计（测得功率 P1），则高功放的输出功率增益是 G = P1 – P0 + G0。测试框图如图 2 所示。

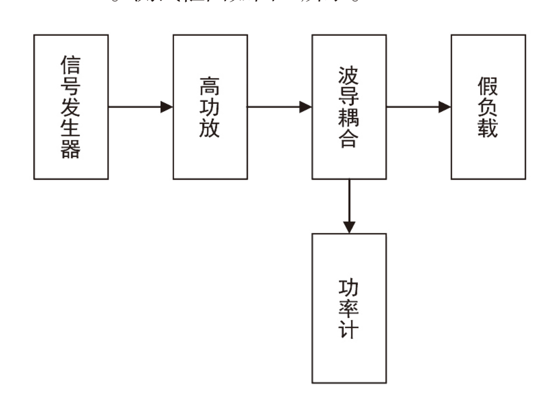


图 2　高功放输出功率增益测试框图

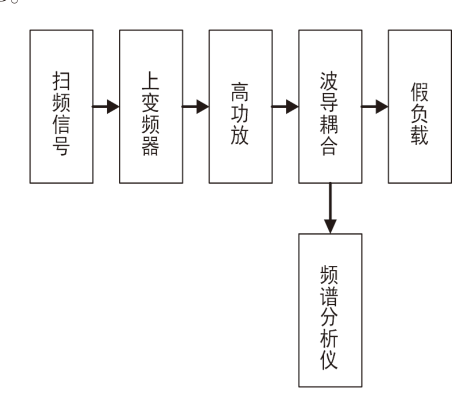
具体测量步骤是先连接好测试设备，关闭信号发生器 RF 输出，将输入激励调至最小（高功放增益最大），信号发生器工作频率为上行中心频率，打开信号发生器 RF 输出，逐渐增加激励电平至高功放输出达到额定功率，测量耦合器输出信号功率，计算高功放输出功率增益。

3.2 频率响应（带内平坦度）

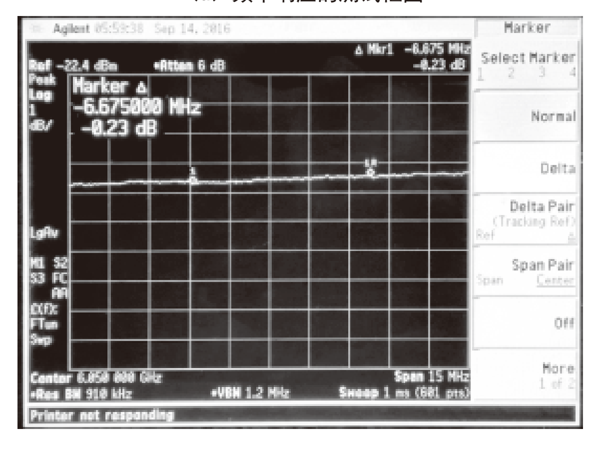
高功放的频率响应是以发射载波为中心频率的工作频带内的振幅频率特性，反映发射信号频谱特性的平坦程度，会影响接收信号的信噪比（C/N）。要求带内平坦度是单路单载波传输 0.5dBp–p（SCPC），多路单载波传输 1dBp–p（MCPC）。

频率响应使用频谱分析仪和扫频信号发生器组合测试，用扫频信号源接入上变频器，在高功放输出端口和负载之间接入一个适当的并校准好的定向耦合器，耦合器输出接到频谱分析仪。

图 3（a）显示了频率响应的测试框图，图 3（b）是频率响应的测试界面，在试界面中，频谱仪显示的幅频特性曲线平滑，在 6.67MHz 带宽内幅度 / 频率响应的起伏 <0.23dB。



（a）频率响应的测试框图



（b）频率响应的测试测试界面

图 3

3.3 输出频谱

上行系统输出的射频调制信号的频谱主要反映的是卫星系统发射信号所占用的带宽和余弦滚降率，由 –3dB 带宽和 –30dB 带宽来表示，（–3dB 带宽约和发射信号的符号率相当，–30dB 带宽大约等于 –3dB 带宽 1.20–1.35 倍）。如果发射带宽不足，会影响接收信号的 C/N，如果频谱形状不对称，说明信号在上行系统中存在非线性失真。图 4 为输出频谱的测

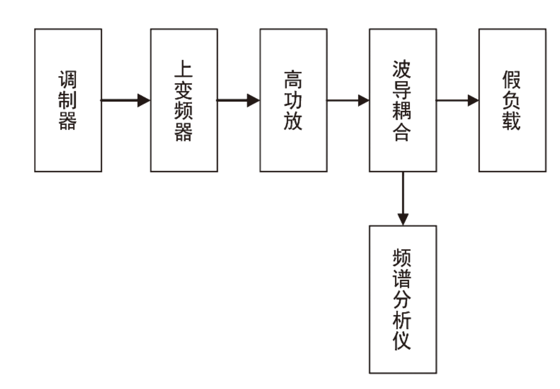


图 4　输出频谱的测试框图

试框图，图 5 为测试界面。在输出频谱测试界面中显示，其 –3dB 带宽约为 6.87MHz（Maker1–Maker1R），–30dB 带宽约为 9.5MHz（Maker2–Maker2R）。

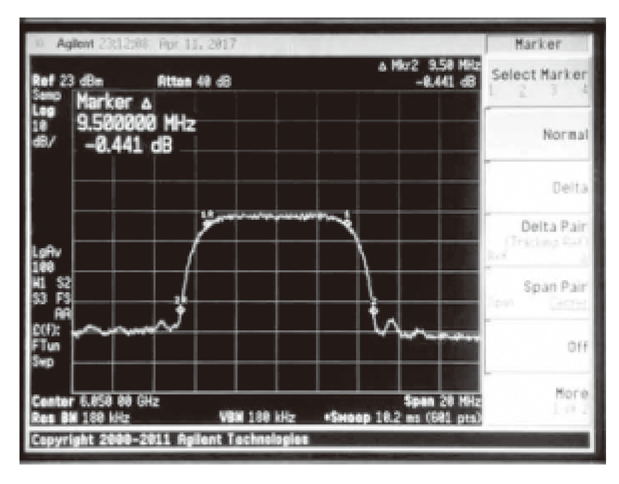


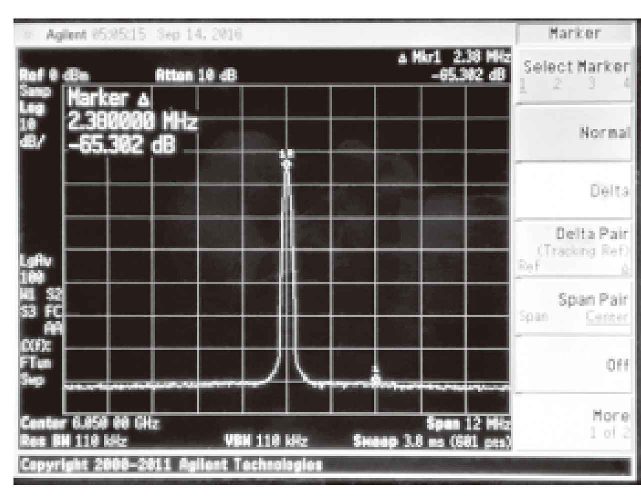
图 5　输出频谱的测试界面

3.4 杂散输出

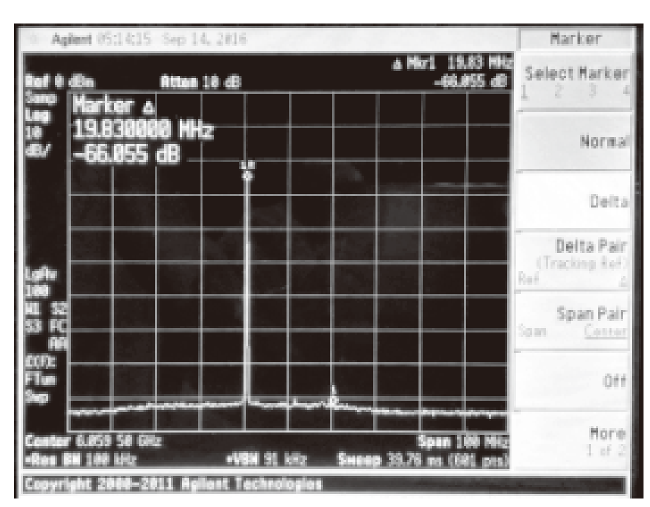
射频高功放系统的杂散输出是指当高功放输出中除主载波外的无用辐射信号。分带内杂散和带外杂散，带内杂散是指上行信号频带内的杂波信号，若它过大，会干扰已调调制信号；带外杂散是指上行信号频带外又在卫星转发器转发通道内的杂波信号，他会干扰其他载波信号，显然杂散与载波信号相比应足够的小。

杂散的测试方法是将调制输出改为无调制单载波输出，把高功放的射频载波信号经耦合器衰减后送入频谱分析仪，在规定频带内读取除载频之外最大无用辐射信号（包括谐波）的电平，该电平与载频电平的差值之比就是杂散输出。

测试框图和输出频谱的测试框图一样，如图 4 所示。测试结果界面如图 6（a）所示。显示是带内杂散，较大的杂散点输出为 –65.3dB（距主载波 2.38MHz），图 6（b）所示是带外杂散，较大的杂散点输出为 –66dB（距主载波 19.83MHz）。



（a）带内杂散输出测试界面



（b）带外杂散输出测试界面

图 6

3.5 三阶互调

当两个或多个载频信号输入到射频高功放时，由于射频高功放的非线性特性，输出除了载频信号外，还会产生一些互调产物（$2F_1-F_2$，$2F_2-F_1$）。其中三阶互调的产物往往落在射频高功放的工作区域以内，对放大器影响最大，反映了射频高功放系统工作区域的非线性的严重程度。

测试时把调制器输出的无调制中频载波信号（70MHz）和与之相同电平频率相差 5MHz 左右的单频信号经混合后送入上变频器，在高功放的输出端测试，其最大的互调电平与输出载波电平之差就是三阶互调。两个输入载波电平应比单个额定输入载波电平小 3dB。

三阶互调测试框图如图 7 所示，测试结果图 8 所示，左右二个较小的单频波是两单频载波通过射频高功放系统后产生的三阶互调产物，其中较大的那个波峰值（Maker1）是相对于载波幅值（Maker1R）的 –41.88dB。

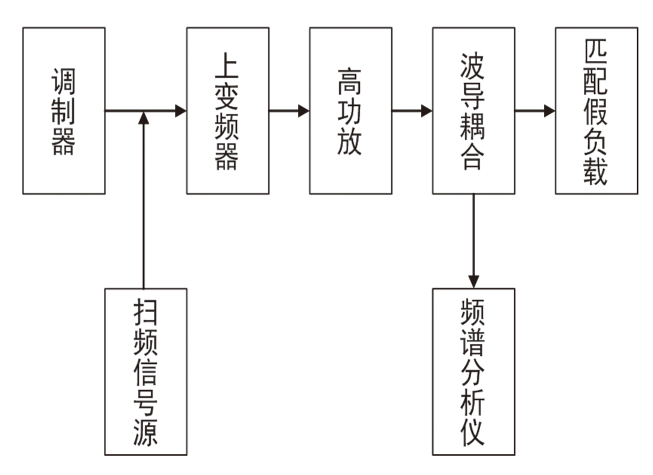


图 7　三阶互调测试框图

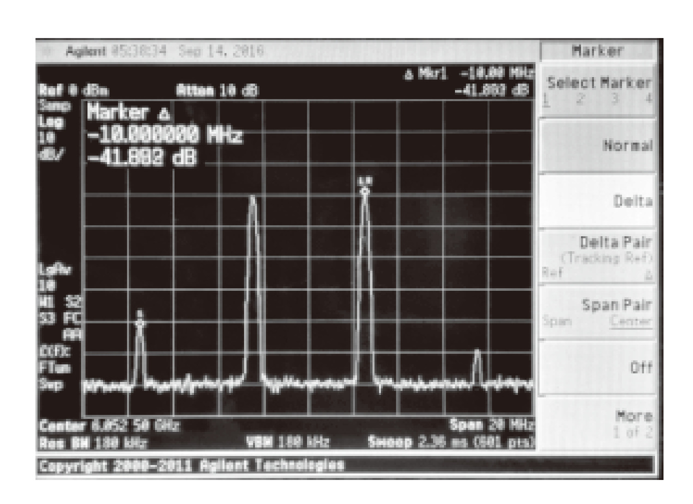


图 8　三阶互调测试界面

3. 6 相位噪声

相位噪声的的定义是指无调制载波信号经高功放输出后的载波信号单边带相位噪声。相位噪声过大，会干扰已调波的调制信号，影响信号质量。

相位噪声测试方法和输出频谱的测试方法相似，测试框图和输出频谱的测试框图一样，如图 4 所示。将调制器输出的无调制单载波送入上变频器，高功放经耦合器输出的射频调制信号送入频谱分析仪，分别读取距载波 10Hz-100Hz、100Hz-1kHz、1kHz-100kHz、100kHz-4MHz 处的相位噪声。相位噪声测试结果界面如图 9 所示。图中结果显示其相位噪声是 -85.89dB/Hz。

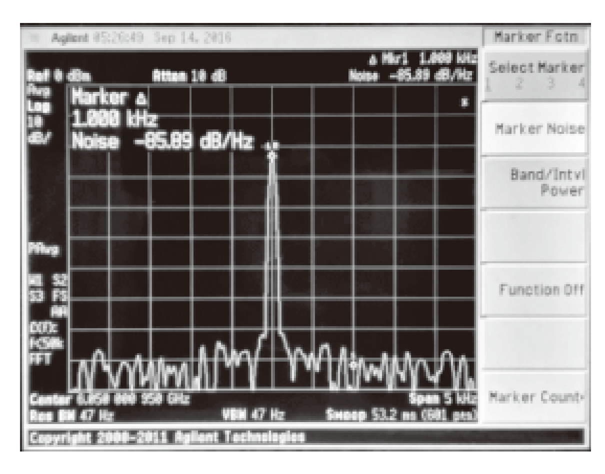


图 9　相位噪声测试界面

4. 结束语

广播电视数字卫星上行系统的检测项目还有很多，如控制监测系统、网管系统、电源系统、天馈系统等等，都需要定期进行维护和测试；特别是在高功放测量中，我们应尽量考虑测试环境与实际工作状态相接近，保证调制器、上变频器、高功放等的输入与输出电平尽可能在正常工作的中间范围，尽量避免设备的极限工作状态，使测试结果尽可能地反映高功放的实际工作状态。要保证卫星上行系统的健康工作，就必须根据维护规程，进行例行的技术指标测试，使我们能及时发现和处理故障隐患，保证广播电视的安全播出。

参考文献

[1] GENIV2003 大功率速调管功率放大器安装使用说明书 .

[2] 刘长占 . MPEG-2 TS 分析与卫星系统射频测试方法 . 卫星与网络，2007.

（作者单位：浙江广播电视集团传输发射中心）